

Changement climatique et ski sur glacier en Suisse

Bruno Abegg

Volume 39, numéro 108, 1995

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/022519ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/022519ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Département de géographie de l'Université Laval

ISSN

0007-9766 (imprimé)

1708-8968 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Abegg, B. (1995). Changement climatique et ski sur glacier en Suisse. *Cahiers de géographie du Québec*, 39(108), 445–464. <https://doi.org/10.7202/022519ar>

Résumé de l'article

Les domaines skiables sur glacier ont joué un rôle toujours plus important durant les saisons hivernales de la dernière décennie. Pendant les trois hivers pauvres en neige entre 1987 et 1990, on a vu que seuls les domaines avec glaciers peuvent assurer à la fois un démarrage précoce de la saison de ski hivernal et des conditions d'enneigement favorables durant la saison d'hiver. L'avenir du ski sur glacier en Suisse, en été tout comme en hiver, dépend largement des conséquences du changement climatique prévu et qui est dû au réchauffement global. En raison du retrait glacier continu, on s'attend à des réductions sensibles des fréquentations des domaines skiables d'été. De par l'élévation prévue de la limite des neiges en hiver, la demande dans le domaine du tourisme de ski se concentrera sur les altitudes plus élevées. En même temps, les domaines skiables à basse altitude perdront leur tourisme de ski et, par conséquent, leur base économique. Dans les domaines skiables sur glacier, on s'attend à un nombre toujours croissant des passagers transportés.

Changement climatique et ski sur glacier en Suisse

Bruno Abegg, Urs König et Max Maisch
Institut de géographie
Université de Zurich
Suisse

Résumé

Les domaines skiables sur glacier ont joué un rôle toujours plus important durant les saisons hivernales de la dernière décennie. Pendant les trois hivers pauvres en neige entre 1987 et 1990, on a vu que seuls les domaines avec glaciers peuvent assurer à la fois un démarrage précoce de la saison de ski hivernal et des conditions d'enneigement favorables durant la saison d'hiver. L'avenir du ski sur glacier en Suisse, en été tout comme en hiver, dépend largement des conséquences du changement climatique prévu et qui est dû au réchauffement global. En raison du retrait glacier continu, on s'attend à des réductions sensibles des fréquentations des domaines skiables d'été. De par l'élévation prévue de la limite des neiges en hiver, la demande dans le domaine du tourisme de ski se concentrera sur les altitudes plus élevées. En même temps, les domaines skiables à basse altitude perdront leur tourisme de ski et, par conséquent, leur base économique. Dans les domaines skiables sur glacier, on s'attend à un nombre toujours croissant des passagers transportés.

Mots-clés : Changement climatique, ski sur glacier, tourisme de ski, Suisse

Abstract

Climate Change and Glacier Skiing in Switzerland

Glacier ski resorts have played a major role of importance during the winter seasons over the last decade. It was demonstrated, during the three consecutive snow-deficient winters between 1987 and 1990, that only those resorts with glaciers could provide both an early start to the ski season in winter and reliable snow conditions throughout the winter season. The future of glacier skiing in Switzerland, both winter and summer, largely rests with the consequential outcomes of the predicted climate change due to global warming. Because of ongoing glacier retreatment it is expected that substantial reductions in the usage of summer ski resorts will occur. As a consequence of the predicted rising snowline in winter, the demand for ski tourism will concentrate on the high mountain ranges. Simultaneously ski resorts at low altitudes will lose their ski tourism and therewith their economic base. In the glacier ski resorts increases in the number of transported passengers are to be expected.

Key Words : Climate Change, Glacier Skiing, Ski Tourism, Switzerland

INTRODUCTION

Le thème du présent article se situe à l'intersection de deux projets de recherche menés à l'Institut de géographie de l'Université de Zurich, dans le cadre du Programme national de recherche (PNR) 31 «changements climatiques et catastrophes naturelles». Le premier projet porte sur les «conséquences d'un changement climatique sur le tourisme dans l'espace alpin». Ce projet pose d'abord la question des interactions entre climat et tourisme. Cela n'a rien à voir avec un «déterminisme climatique»; il s'agit plutôt d'intégrer la question du temps et du climat dans la discussion sur le tourisme. Dans cette optique, la sensibilité du tourisme au temps et au climat se situe au premier plan. Finalement il s'agit d'élaborer des scénarios, en d'autres termes, de voir à quoi pourrait ressembler le tourisme dans l'espace alpin suisse sous des conditions climatiques modifiées. Dans ce même projet, une étude, qui se limite aux aspects concernant le ski sur glaciers, a été élaborée (König, 1994). C'est là que se situe le lien avec le deuxième projet PNR 31, qui, sous le titre «les conséquences de changements climatiques sur les glaciers et leur marge proglaciaire», se consacre aux glaciers des Alpes suisses, à leur évolution et à leurs perspectives d'avenir. Ce projet complète une étude déjà réalisée sur les Grisons. Il relève et inventorie selon une nouvelle méthode unifiée tous les glaciers du Valais, des Alpes bernoises et des Alpes vaudoises. Les objectifs consistent en une reconstitution exhaustive de toutes les surfaces englacées du «maximum historique de 1850» et en une interprétation glaciologique des modifications intervenues jusqu'à aujourd'hui (plus exactement l'année de référence 1973, correspondant à l'inventaire officiel des glaciers suisses). Ces nouvelles données brutes sont stockées dans une base de données glaciologiques, dont les paramètres peuvent être traités en fonction du problème étudié. L'application pratique et «prospective» de ces relevés vise à élaborer, quantifier et visualiser des scénarios d'évolution des glaciers, aussi précis et régionalement différenciés que possible, ainsi que leurs conséquences sur l'espace naturel pour le XXI^e siècle.

LE SKI SUR GLACIER EN SUISSE

Dans les années 1960 et 1970, les régions englacées de Suisse firent l'objet d'un regain d'intérêt de la part des milieux touristiques. Avec l'accès aux glaciers, on comptait sur une augmentation de l'attractivité de l'espace alpin pour un tourisme estival alors en régression. Plusieurs stations suivirent cette stratégie et créèrent un accès à leurs glaciers dans un but touristique. Le ski d'été devint peu à peu à la mode et connut une progression; bientôt les glaciers furent aussi intégrés dans le réseau de ski hivernal. Aujourd'hui la page s'est tournée : alors que le ski d'été perd constamment de sa signification, les glaciers deviennent de plus en plus importants comme garants d'enneigement en hiver (figure 1).

Figure 1

LES DOMAINES SKIABLES SUR GLACIER EN SUISSE

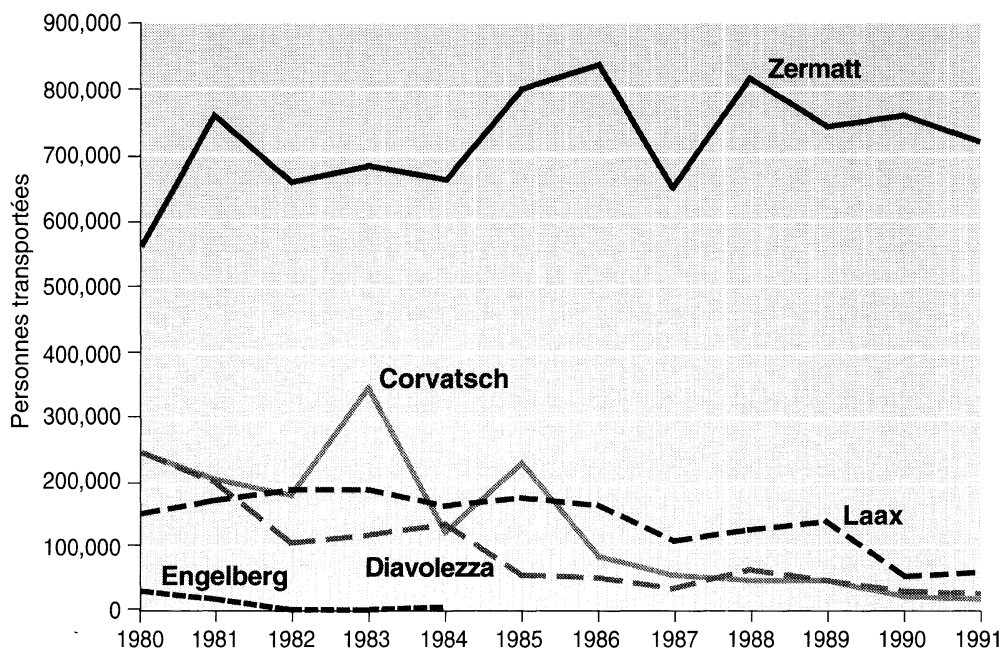


Si l'on exclut le petit téléski du Jungfraujoch, il existe actuellement en Suisse neuf champs de ski sur glacier (Zermatt, Saas-Fee, Corvatsch, Diavolezza, Laax, Engelberg, Crans-Montana, Les Diablerets et Verbier). La motivation initiale pour l'équipement de ces glaciers était, dans sept cas sur neuf, l'offre de ski d'été. À travers le ski d'été, on espérait une amélioration de l'image de la station et de son domaine skiable, ainsi que la revitalisation déjà citée de la saison estivale. À Crans-Montana et à Laax, la raison principale de l'équipement du glacier était de garantir un démarrage précoce de la saison de ski; le ski d'été, puis l'exploitation sur toute l'année, ne furent introduits que plus tard (figure 2).

Les attentes qui avaient été placées dans le ski d'été ne sont plus guère remplies qu'à Saas-Fee et à Zermatt. Les deux domaines de ski sur glacier les plus grands et les plus attractifs de Suisse continuent à enregistrer une forte fréquentation en été et, grâce à des situations topographiques et climatiques favorables, n'ont guère de problème avec l'ablation du glacier. Dans les autres domaines de ski d'été, l'ablation toujours plus importante des glaciers a conduit à une réduction (Crans-Montana, Verbier, Les Diablerets, Diavolezza), voire à l'abandon de l'offre de ski d'été (Corvatsch, Laax, Engelberg). Bien que dans toutes les régions, sauf à Zermatt et Saas-Fee, l'exploitation du ski d'été n'ait apporté et n'apporte toujours que des pertes, elle est maintenue pour des raisons d'image aussi longtemps que possible. On part de l'idée que les hôtes associent le ski d'été

Figure 2

FRÉQUENTATION LIÉE AU SKI D'ÉTÉ DANS QUELQUES DOMAINES SKIABLES SUR GLACIER (mai/juin - sept./oct.)



Données: Rapports d'activité et statistiques de transport internes des entreprises de remontées mécaniques correspondantes

avec la garantie d'enneigement en hiver. Dans ce sens, le ski d'été prépare la voie pour la saison hivernale à venir.

La diminution de la fréquentation ne s'explique toutefois pas uniquement par des problèmes d'ordre naturel. Il semble que les skieurs de «prestige», qui constituaient autrefois une bonne partie des utilisateurs, tendent à disparaître pour se tourner vers des activités sportives plus à la mode. L'augmentation des adeptes du *snowboard* n'arrive pas à compenser la diminution de la fréquentation. Il faut ajouter que le déplacement des cadres régionaux et nationaux de ski des petits domaines skiables vers les grands domaines de Saas-Fee et de Zermatt contribue également à la concentration du marché du ski d'été.

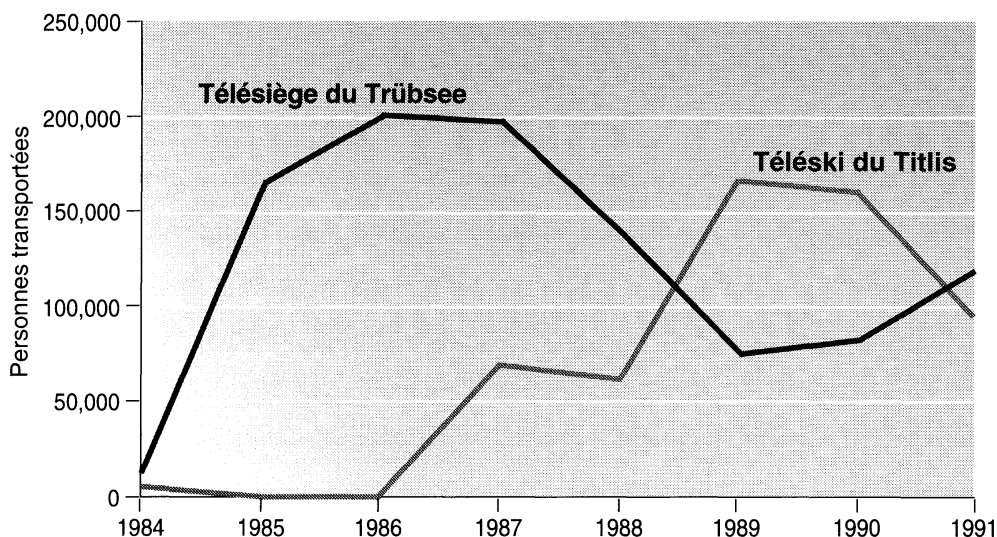
Tandis que la part du ski d'été diminue dans les petits domaines skiables, la prolongation de la saison de ski et le ski d'hiver sur glacier gagnent en importance. Les glaciers garantissent un début de saison en octobre, au plus tard en novembre, même dans les hivers tardifs. Pendant les hivers pauvres en neige de la fin des années 1980, les domaines skiables sur glaciers (en particulier Engelberg, Crans-Montana, Les Diablerets, Laax et Verbier) ont enregistré une hausse marquée de la fréquentation, qui peut être imputée au manque de neige dans le reste du

domaine skiable, voire à l'absence totale de neige dans des régions voisines ne disposant pas de glaciers. Les installations sur glaciers peuvent ainsi être considérées comme de véritables «sauveurs» de la saison de ski lors d'hivers pauvres en neige. Par moments, c'étaient même les seules installations en service.

Un exemple démonstratif de cette fonction de «bouée de sauvetage» est fourni par la comparaison des fréquentations de deux installations de remontées mécaniques d'Engelberg (figure 3). Le télésiège de Trübsee, situé en région non englacée, transportait pendant les hivers suffisamment enneigés nettement plus de personnes que le téléski du glacier du Titlis. Dans les hivers pauvres en neige de la fin des années 1980, l'exploitation du télésiège dut être souvent suspendue et la fréquentation diminua en conséquence. Le téléski du glacier (qui ne fonctionne pas toujours pendant les hivers enneigés) assura une exploitation ininterrompue malgré le peu de neige à basse altitude et enregistra une hausse marquée de la fréquentation. Globalement, toutes les remontées mécaniques sur glaciers de Suisse montrent une fréquentation forte lors d'hivers pauvres en neige, et une fréquentation basse lors d'hivers enneigés. Cet «effet tampon» des installations sur glaciers préserve les sociétés de remontées mécaniques d'un effondrement total de la fréquentation lors d'hivers doux. À long terme, le domaine skiable glaciaire assure à la station de ski une image d'enneigement assuré. Dans ce sens, les stations de sport d'hiver avec accès à un domaine skiable sur glacier bénéficient d'un avantage de concurrence appréciable. Les autres secteurs touristiques profitent évidemment également de cet avantage.

Figure 3

**COMPARAISON DE FRÉQUENTATION:
TÉLÉSIÈGE DU TRÜBSEE - TÉLÉSKI DU TITLIS**



Données: Rapports d'activité 1991 des Luftseilbahnen Trübsee-stand-Kleintitlis AG et des Bergbahnen Engelberg-Gerschnialp-Trübsee AG

LES EFFETS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES GLACIERS

Les glaciers sont souvent considérés comme des «indicateurs climatiques à mémoire longue» (Haeberli, 1994). Leur grande sensibilité par rapport aux fluctuations du climat fait des glaciers des objets d'étude appropriés pour la reconstitution des conditions climatiques du passé, grâce aux méthodes de la géomorphologie glaciaire (par exemple, datation des moraines) et de la paléoglacéologie (par exemple, calcul de lignes d'équilibre, études des relations climat-glaciers). Les changements de dimensions à moyen et long termes (sur quelques décennies à quelques siècles) peuvent être interprétés comme des signaux de modifications des conditions climatiques. En renversant l'approche historico-climatique utilisée jusqu'ici, il est également possible, avec une méthodologie adaptée, d'utiliser les glaciers comme des modèles simples pour estimer et quantifier les changements climatiques futurs (Kuhn, 1990; Haeberli, 1991; Maisch, 1992; Hölzle, 1994). Les grands glaciers et leur marge proglaciaire se prêtent par ailleurs remarquablement bien à une visualisation «glacio-didactique» du réchauffement depuis 1850 et des conséquences futures de l'effet de serre (Maisch *et al.*, 1993). L'étude des glaciers alpins et de leur diminution lors du dernier siècle contribue ainsi à une meilleure appréhension de la problématique climatique et environnementale actuelle et future.

ÉTAT DES CONNAISSANCES SUR LE RETRAIT DES GLACIERS DEPUIS 1850

Sur la base des données déjà acquises sur les glaciers des massifs montagneux grisons, on a pu établir un certain nombre de caractéristiques glaciologiques typiques pour le retrait «séculaire» de 1850 à aujourd'hui (Maisch, 1992). Du fait de leur caractère général, les paramètres principaux, exposés de façon simplifiée ci-dessous, devraient être valables également pour les scénarios du XXI^e siècle. Indirectement, ils sont intéressants aussi pour l'évaluation des perspectives de développement futur du ski sur glacier.

- Depuis le maximum historique de 1850 et avec un réchauffement de l'ordre de $+0,5^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,2^{\circ}$), la ligne d'équilibre (LE) s'est élevée en moyenne de 80 m, avec de faibles variations régionales liées aux précipitations. Cela donne empiriquement un gradient température/LE de $0,6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, qui concorde bien avec les valeurs calculées théoriques (Kuhn, 1990). Une élévation de la LE de + 100 m, telle qu'elle peut être attendue pour les 20-30 prochaines années d'après les scénarios climatiques généralement utilisés (PNR 31- scénario A *Business as usual* : réchauffement de $+0,3^{\circ}\text{C}$ par décennie, PNR 31- scénario C : $+0,2^{\circ}\text{C}$ par décennie), représente donc déjà une accélération de cinq à huit fois par rapport au changement climatique observé depuis 1850 (réchauffement de $+0,4^{\circ}\text{C}$ par siècle!).
- L'importance absolue et relative des modifications de surface et de volume de glace se corrèle de façon significative avec la dimension initiale des glaciers

examinés: pour des grands glaciers (surface > 10 km²) et des régions largement englacées, la diminution de surface de glace représente en général 15-30 %. Dans les régions moins fortement englacées et pour des glaciers de dimensions moyennes, la diminution relative depuis 1850 est plus grande et se situe en moyenne entre 40 et 60 %, dans des régions marginales à peine englacées elle atteint même jusqu'à 70 %. Plusieurs névés et petits glaciers ont même totalement disparu, par suite de conditions d'alimentation devenues défavorables.

- En chiffres absolus, les grands glaciers, bien que plus rares, contribuent dans une plus large mesure à la diminution régionale de la surface et du volume englacé, aux débits écoulés et finalement à l'agrandissement des surfaces de marge proglaciaire, que l'ensemble des petits glaciers réunis. Ils se réduisent toutefois moins en chiffres relatifs, vu leur réserve en glace/eau significativement plus importante.
- Les petits glaciers, dont l'aire d'alimentation ne monte pas très haut et qui ne sont pas protégés par des parois rocheuses élevées, réagissent de manière nettement plus sensible à une élévation de la LE et diminuent extrêmement rapidement pendant les phases climatiquement défavorables. Ils subissent en plus les effets des changements de l'albédo dans leur environnement immédiat, ce qui accélère encore la fusion de la glace.
- Les glaciers à pente superficielle faible (5-15° de pente) réagissent de façon plus sensible aux changements d'altitude de la LE que les glaciers à topographie raide. Une élévation de la LE se traduit immédiatement par une diminution importante de l'aire d'alimentation, et inversement par un agrandissement de la surface d'ablation, ce qui a pour effet d'augmenter l'ablation et les processus de fusion dans les zones basses.

MÉTHODE ET PREMIERS RÉSULTATS DES PRONOSTICS DE RETRAIT GLACIAIRE

Il est prévu d'établir les pronostics de retrait glaciaire pour le XXI^e siècle à l'aide de scénarios d'élévation de la ligne d'équilibre. Ces scénarios, établis par pas de 100 m d'élévation de la LE, permettent une appréhension synoptique rapide des différences régionales d'intensité, des caractéristiques glaciologiques et, en relation avec échelle de temps encore très spéculative, de la dynamique de fusion glaciaire probable (exemple sur la figure 4).

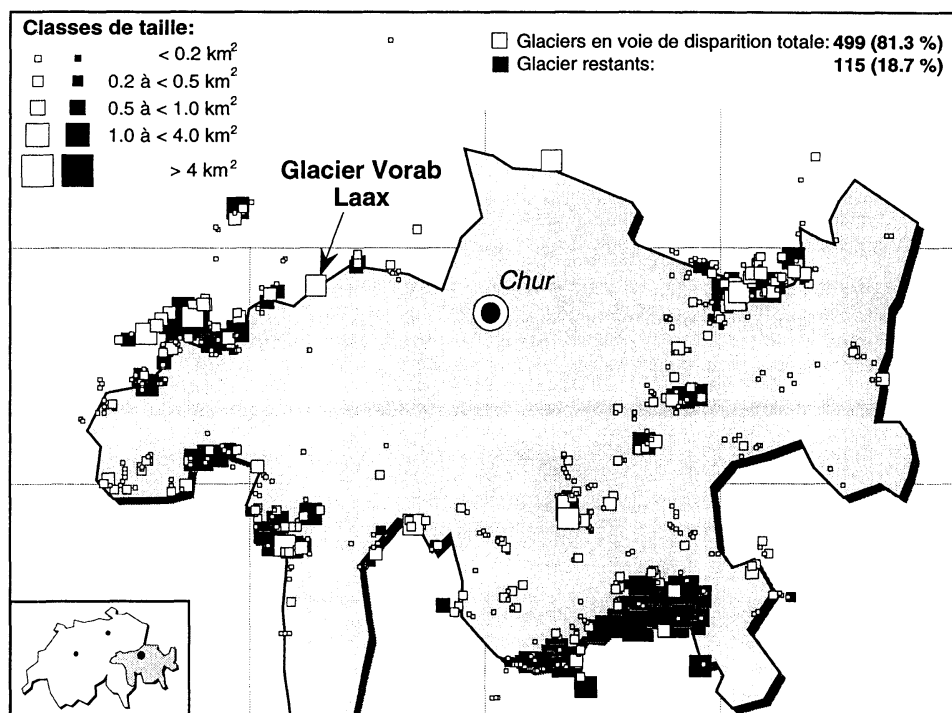
Pour la modélisation des scénarios de retrait, on utilise comme donnée de départ les paramètres hypsographiques de chaque glacier (répartition de la surface par rapport à l'altitude). Ce profil hypsographique est ensuite combiné avec une méthode de partage de surfaces (*Accumulation Area Ratio* AAR = 0,67, ou «LE-2:1», soit la ligne d'équilibre moyenne sur plusieurs années partageant la surface du glacier dans une proportion de 2:1 entre la surface d'accumulation et la surface

Figure 4

SCÉNARIO DE RETRAIT GLACIAIRE

Scénario LE + 300m; élévation de temp. +1.8°

Horizon temporel selon scénario A: 2010 scénario C: 2020

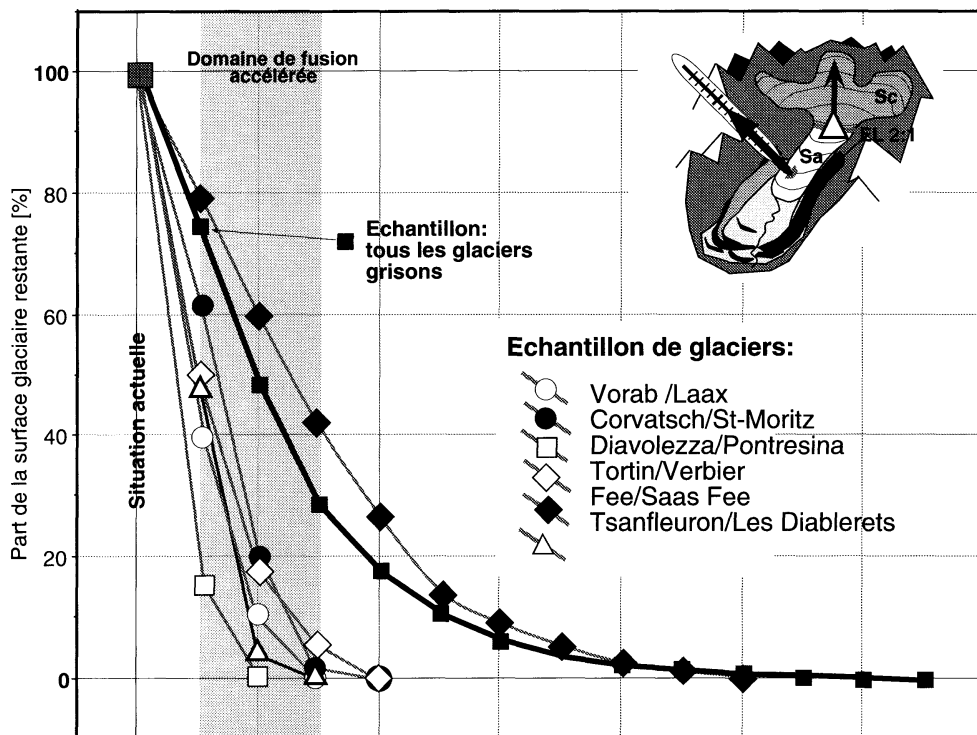


d'ablation). À l'aide de cette technique de modélisation, les pronostics d'évolution des glaciers sont établis sur une base essentiellement géométrique et encore indépendante des conditions climatiques. Dans l'état actuel des connaissances, la rapidité avec laquelle les changements climatiques supposés et l'évolution des conditions de température et de précipitations, déterminantes pour l'avenir des glaciers, vont survenir est encore largement incertaine, voire contestée. Les tendances de retrait présentées ici permettent de figurer une évolution virtuelle.

La figure 5 représente sous forme d'un scénario les perspectives d'avenir de quelques glaciers choisis parmi ceux qui sont importants pour le ski sur glacier. Les deux échelles inférieures (Pronostics climatiques: délais) permettent de combiner les modèles d'élévation de la LE avec les deux scénarios climatiques A (*Business as usual*) et C (évolution moins pessimiste) proposés par la direction du PNR 31. Avec toute la prudence de mise pour éviter une surinterprétation, il est ainsi possible d'évaluer de façon réaliste la dynamique future de fusion glaciaire. Il apparaît, et cela vaut également pour l'ensemble des glaciers grisons, que les glaciers choisis ici verront leur surface diminuer nettement déjà à partir d'un scénario LE +100 m (+0,6°C, horizon scénario A : 2010, scénario C : 2020) et de façon marquée et accélérée à partir de LE +200 m (+1,2°C, horizon 2030-2050).

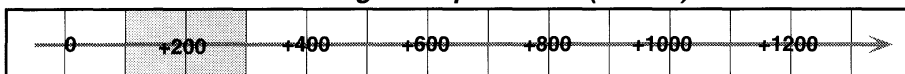
Figure 5

DIAGRAMME DES SCÉNARIOS DE RETRAIT GLACIAIRE POUR UN CHOIX DE GLACIERS ÉQUIPÉS POUR LE SKI, COMPARÉS À L'ENSEMBLE DES GLACIERS GRISONS

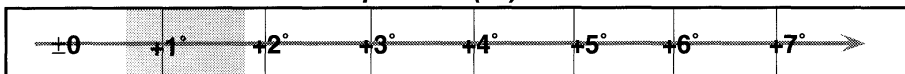


Relation climat-glaciers:

Scénarios d'élévation de la ligne d'équilibre 2:1 (mètres)

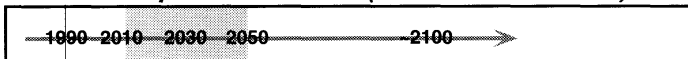


Scénarios d'élévation de température (°C)

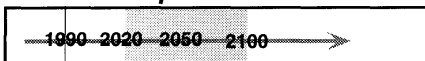


Pronostics climatiques:

Horizon temporel scénario A ("business as usual")



Horizon temporel scénario C



N.B.: On a représenté la part des surfaces résiduelles probables selon les différents scénarios d'élévation de la LE et la courbe de «disparition» de chaque glacier.

Conformément aux attentes, le grand glacier de Fee, dont la surface d'accumulation monte à des altitudes élevées, présente clairement la diminution la plus lente, alors que les glaciers de Corvatsch et de Tortin (Verbier) auront totalement disparu avec un scénario LE +400 m, ceux de Tsanfleuron (Les Diablerets) et de Vorab (Laax) par LE +300 m, et le petit glacier marginal de la Diavolezza déjà par LE +200 m.

L'AVENIR DU SKI D'ÉTÉ

La situation du ski d'été en Suisse se présente aujourd'hui comme suit (König, 1994) : le marché du ski d'été est saturé. Les fréquentations d'ensemble sont en régression, et la demande se concentre de plus en plus sur les deux domaines skiables glaciaires de Zermatt et de Saas-Fee. Les autres domaines skiables glaciaires se voient contraints à réduire constamment leur offre de ski d'été, ou l'ont même déjà abandonnée. Conformément aux scénarios de retrait glaciaire présentés ci-dessus, il faut compter sur une poursuite du processus de concentration du ski d'été entamé ces dernières années. À plus long terme, il faut compter que seules Saas-Fee et Zermatt seront encore en mesure d'assurer les conditions nécessaires au ski d'été. Les autres domaines devront abandonner l'exploitation en raison du retrait des glaciers. À cause de l'accélération de l'ablation et de la perte de surface des glaciers, la capacité suisse de ski d'été, plutôt trop élevée, héritée du passé, va s'adapter presque automatiquement à la tendance négative de la demande. Malgré les modifications enregistrées dans la structure du tourisme de ski d'été, il est toutefois probable qu'une certaine demande de ski d'été subsistera dans le futur. Plusieurs directeurs de remontées mécaniques sont d'avis qu'un petit marché résiduel subsistera.

Pour les régions qui devront renoncer au ski d'été, cette évolution signifiera surtout la perte d'une clientèle financièrement forte et dépensière. L'abandon de l'offre de ski d'été n'a eu toutefois aucune influence significative sur le nombre de nuitées à Engelberg (1985), pas plus qu'à Laax (1992). L'effet de la perte de l'image, peut-être plus décisive, est quasi impossible à évaluer. Le déplacement des hôtes depuis les domaines de ski d'été menacés vers Saas-Fee et Zermatt aura une influence positive sur la fréquentation de ces lieux. L'ampleur de cette augmentation de fréquentation devrait toutefois rester assez limitée. Mais même de faibles augmentations causent déjà des problèmes à Saas-Fee et Zermatt. Aujourd'hui déjà, des cadres de ski sont refusés dans ces deux lieux par manque de place. Une nouvelle augmentation de la clientèle provoquera des dépassements de capacité sur les installations de transport et une aggravation du problème déjà critique de la place sur les pistes. Il faut donc s'attendre à ce qu'une extension de ces domaines skiables, qui n'est pas encore discutée (Zermatt) ou est envisagée dans une mesure réduite (Saas-Fee), vienne bientôt à l'ordre du jour.

LES PERSPECTIVES DES CHAMPS DE SKI SUR GLACIERS EN HIVER

Les trois hivers 1987-1988 à 1989-1990 furent dans l'ensemble trop chauds et à bien des endroits extrêmement pauvres en neige. Des hivers pauvres en neige ne sont pas rares en Suisse; c'est au plus la succession de trois hivers avec des conditions d'enneigement aussi précaires qui est inhabituelle. Les conditions d'enneigement défavorables se sont répercutées directement sur la demande dans le tourisme d'hiver, et il n'est dès lors pas étonnant que certains domaines skiables aient enregistré des pertes importantes. Les entreprises de remontées mécaniques furent le secteur le plus touché (OFIAMI et OFAT, 1991; Abegg et Frösch, 1994). Si l'on compare avec le dernier hiver avec des conditions «normales» (1986-1987), les résultats sur l'ensemble de la Suisse n'ont diminué que faiblement dans les deux années suivantes; par contre, ils ont chuté de 20 % pendant l'hiver 1989-1990. Les entreprises de petite taille des régions de basse altitude ont été touchées en premier lieu. Les résultats d'exploitation de ces entreprises ont été passablement mauvais dans toutes les régions. Les bénéfices ont également diminué massivement pour la plupart des entreprises de moyenne altitude. Les entreprises généralement importantes opérant à des altitudes de plus de 1 700 m ont par contre livré des résultats très différenciés. Alors que par exemple dans l'Oberland bernois on a déploré des diminutions de chiffres d'affaires allant jusqu'à 50 %, les grandes entreprises haut-valaisannes et vaudoises ont pu maintenir plus ou moins leur chiffre d'affaires. Dans certaines régions des Grisons (par exemple en Engadine) et dans le Valais central on a atteint des résultats très bons, voire exceptionnels. Ces résultats sont manifestement dus au manque de neige dans les autres régions.

Bien que ces trois hivers pauvres en neige ne puissent pas être mis directement en relation avec le réchauffement global, ils montrent cependant de très belle manière ce qui pourrait se passer dans le cas d'un changement climatique. Dans ce contexte, on admet généralement qu'il faut compter avec une élévation de la limite des neiges hivernales (Föhn, 1990). Il est probable que cette élévation de la limite des neiges aura une influence négative sur la sécurité d'enneigement des domaines skiables existants. La sécurité d'enneigement peut être évaluée à l'aide de la «règle des 100 jours» (Witmer *et al.*, 1986, p. 193). Cette règle stipule que la sécurité d'enneigement, et par là la rentabilité d'un domaine skiable, ne sont garanties que si une couche de neige suffisante à la pratique du ski est présente au moins pendant 100 jours par saison. Actuellement, en vertu de cette règle, la plupart des champs de ski à plus de 1 200 m sont considérés comme assurés. Avec un réchauffement moyen de 1 à 2°C, il faut toutefois compter avec une élévation de 150 à 300 m de cette «limite de sécurité d'enneigement». Selon une étude de l'Association suisse des entreprises de transport à câbles (ASC), seuls deux tiers des domaines skiables pourraient encore jouir d'un enneigement assuré; actuellement, toujours selon l'ASC, ils sont encore 87 % (Pfund, 1993, p. 10). Au cas où ce scénario devenait réalité, nous serions confrontés à une nouvelle mosaïque d'espaces favorisés et défavorisés. Les domaines skiables se concentreraient vraisemblablement dans les régions élevées et plus enneigées, alors que les entreprises de sport d'hiver du Jura et des Préalpes disparaîtraient tôt ou tard du marché. La descente

à ski jusqu'à la station ne serait plus assurée dans la plupart des stations, et même les régions les plus élevées devraient compter avec une saison raccourcie. Les conséquences économiques pour les entreprises de remontées mécaniques seraient semblables à l'hiver exceptionnel de 1989-1990 (voir plus haut), à la différence toutefois qu'il deviendra toujours plus difficile aux entreprises menacées de compenser les mauvaises années par de bonnes. À cela s'ajoute que, contrairement aux hivers pauvres en neige de la fin des années 1980, les conditions d'enneigement défavorables vont se répercuter entièrement sur le nombre d'hôtes. Les nuitées qui, à l'époque, ont tout de même été réservées dans l'espoir de chutes de neige tomberaient dans l'hypothèse de mauvaises conditions d'enneigement durables.

Dans cette situation de concurrence, les domaines skiables sur glaciers, qui sont par nature les plus élevés et les plus sûrement enneigés, vont jouer un rôle important. Les hivers doux de la fin des années 1980 ont montré quelle signification prenaient les glaciers équipés pour le ski dans des conditions de manque de neige à basse et moyenne altitudes. La survie d'une station comme station de sport d'hiver sous des conditions climatiques modifiées dépendra entre autres de l'extension en altitude du domaine skiable et la possibilité d'un accès à un domaine skiable sur glacier. Ainsi, la tendance observée depuis plusieurs années des entreprises de remontées mécaniques à étendre leurs installations dans des régions aussi élevées que possible va dans le même sens. Il en va de même du remplacement de téléskis par des installations indépendantes du sol. La pression sur les régions de haute montagne pourrait donc augmenter ces prochaines années, vu que l'équipement de nouveaux domaines de ski d'hiver sur glaciers ou l'extension des domaines existants constitue, au moins à moyen terme, une stratégie envisageable pour conserver au ski sa signification dans le tourisme suisse. Actuellement, les régions de haute montagne sont relativement bien protégées en Suisse. Les dispositions correspondantes de l'ordonnance sur les concessions de remontées mécaniques (en particulier l'article 7) sont telles, par exemple, que l'équipement de nouvelles régions de haute montagne est quasi impossible. Dans les milieux touristiques toutefois, une demande se fait jour pour une modification de cette pratique, si bien que la confrontation avec les milieux de protection de la nature et du paysage est programmée.

Vu qu'avec l'élévation de la limite hivernale des neiges les domaines skiables sur glaciers bénéficient d'un avantage concurrentiel, il faut compter sur une augmentation de la fréquentation lors de conditions d'enneigement défavorables. Cela pourrait conduire à des dépassements de capacité, qui pourraient mener à leur tour à un nouveau développement. Par conséquent, il faut compter avec une extension des domaines skiables glaciaires existants. L'ampleur de la pression de la demande sur les différents domaines skiables glaciaires dépendra de :

- l'attractivité actuelle du domaine skiable glaciaire et de ses possibilités d'extension sur glacier,
- la situation (distance jusqu'au prochain domaine skiable enneigé ou glaciaire) et la sécurité d'enneigement des domaines skiables environnants.

À l'aide de ces indications, on peut esquisser la demande future de ski d'hiver dans les domaines skiables glaciaires. Ce sont en particulier les domaines skiables sur glacier isolés, entourés de nombreux domaines skiables menacés, qui devront compter à l'avenir avec un fort afflux de skieurs. En conclusion on présentera de façon détaillée la situation du domaine skiable du glacier des Diablerets. Avec les régions de Gstaad et des Alpes vaudoises, il est entouré de domaines skiables de faible altitude et devra donc compter avec une forte augmentation de fréquentation.

L'EXEMPLE DU GLACIER DES DIABLERETS

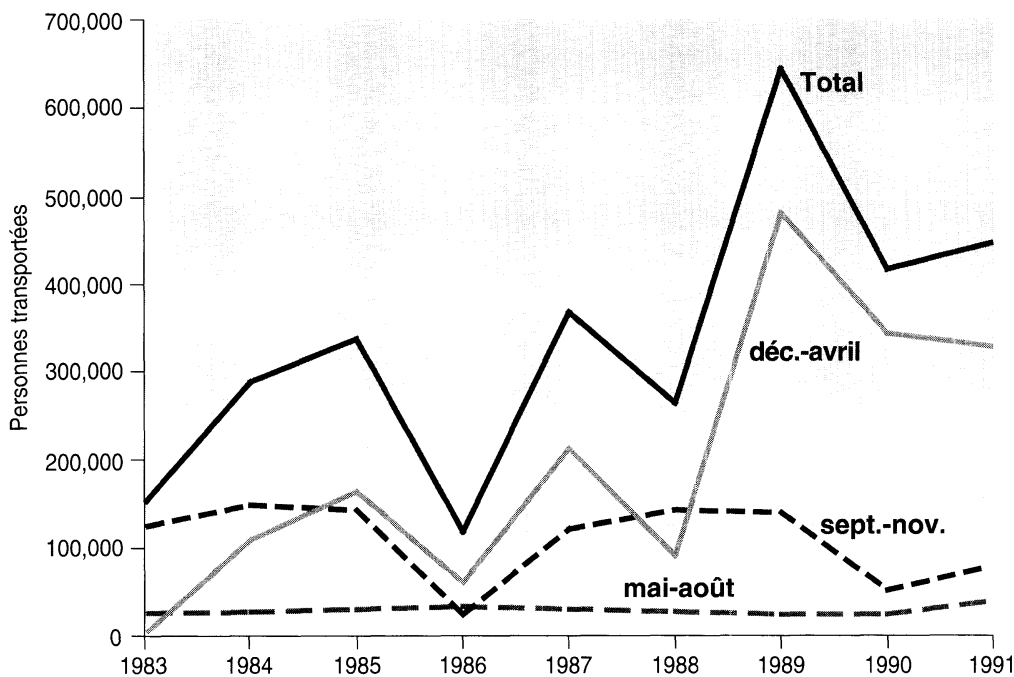
«En dessous de 1 500 m, de bonnes conditions de neige ne pouvaient plus être offertes; dans cette situation, nos hôtes journaliers cherchaient des domaines skiables bien enneigés. Heureusement nous pouvions tabler sur le glacier, qui a réalisé une très bonne saison et qui présentait d'excellentes conditions d'enneigement». (Rapport annuel de la Société des remontées mécaniques de Gstaad et environs, 1992-1993, rapport du président).

Les trois sections de téléphérique du col du Pillon au glacier de Tsanfleuron ont été terminées en 1964. Initialement, le téléphérique était conçu pour admirer le panorama en été. Peu après l'achèvement de la construction, l'hôtellerie de la région (Les Diablerets, Gsteig, Gstaad) demanda l'équipement du glacier pour le ski d'été. En 1971 fut réalisé le premier télésiège; en même temps, une piste de ski de fond fut tracée sur le glacier. En 1977 fut ouvert le télésiège, et en 1983 un deuxième télésiège (figure 6).

La fréquentation liée au ski d'été fut négligeable dès le début (figure 6). En 1986, le mauvais temps provoqua une chute de la fréquentation pendant les mois d'automne. La régression de la fréquentation automnale dans les dernières années s'explique par l'ablation plus étendue. Jusqu'en 1988, le glacier était fermé de janvier à mai-juin. Pendant cette période, les chiffres du mois de décembre étaient déterminants pour la fréquentation des mois d'hiver et en même temps pour le résultat d'ensemble. Le mois de décembre 1987 par exemple a atteint des chiffres quatre fois plus importants que ceux du mois de janvier, qui vient en deuxième position, ceci à cause du manque de neige dans le reste du domaine skiable. Le glacier assurait donc un démarrage précoce de la saison de ski. Depuis l'hiver 1988-1989, les installations fonctionnent toute l'année à cause du manque de neige à basse altitude. Le glacier est devenu ainsi un véritable domaine skiable de remplacement pour Les Diablerets comme pour toute la région de ski de Gstaad. L'office du tourisme de Gstaad a déplacé certaines activités comme des courses de ski populaires et des démonstrations de ski acrobatique sur le glacier, si bien que la «glace éternelle» du glacier des Diablerets est devenue la plaque tournante et le point d'ancrage touristique hivernal de Gstaad. Sans le domaine skiable du glacier, la perte de nuitées à Gstaad aurait été bien plus importante ces derniers hivers, à en croire le directeur de l'office du tourisme. L'arrivée massive des skieurs sur le glacier apporte cependant aussi son lot de problèmes. La capacité de transport du

Figure 6

**FRÉQUENTATION DU DOMAINE SKIABLE DU GLACIER DES DIABLERETS
(jusqu'à 1988 inclus: mai/juin à déc.; depuis 1988: toute l'année)**



Données: Téléphériques du Glacier des Diablerets SA (statistique non publiée).

téléphérique, conçu pour le ski d'été et le tourisme d'excursion, a pour conséquence de longs temps d'attente et une irritation consécutive des skieurs. L'infrastructure touristique sur le domaine skiable (téléskis, restaurant) est totalement surchargée pendant les jours de pointe. L'eau doit par exemple être montée par téléphérique jusqu'à la station supérieure, si bien que chaque deuxième benne doit transporter un réservoir d'eau plutôt que des skieurs. De plus, le glacier des Diablerets est le seul domaine skiable glaciaire de Suisse qui n'épure pas ses eaux usées, mais les évacue dans une fosse septique. La surcharge de la fosse fait que les eaux des toilettes et des cuisines coulent non épurées vers la vallée.

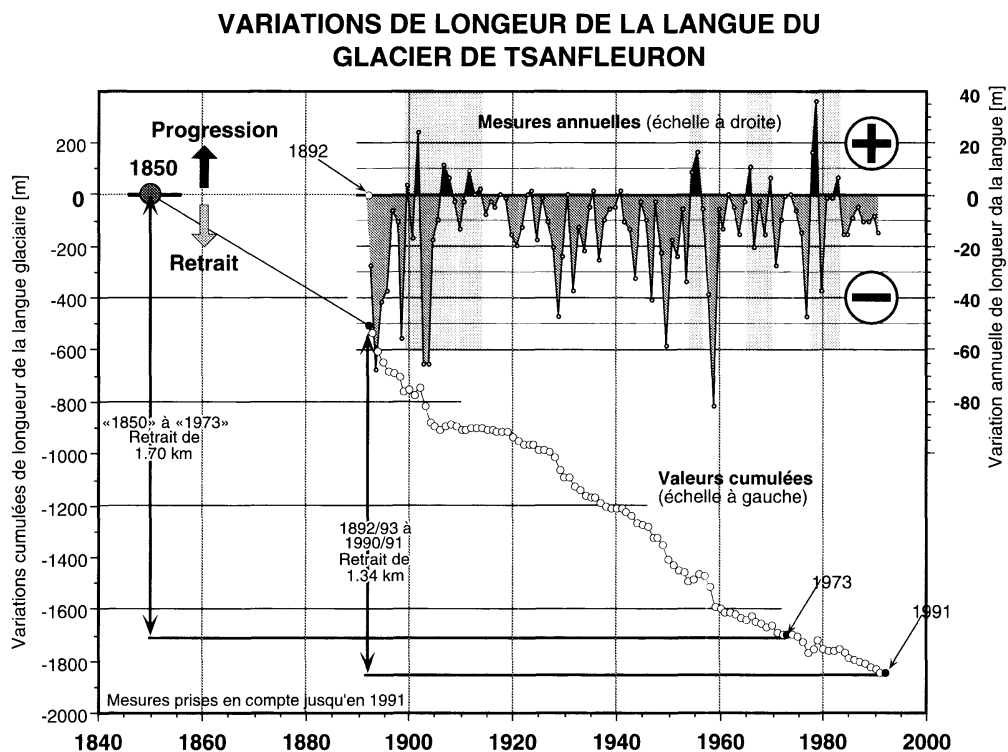
Dans ces conditions, on ne s'étonne pas qu'une extension du domaine skiable du glacier des Diablerets soit déjà planifiée. Le directeur de l'office du tourisme de Gstaad affirme : «Je n'aime pas penser à ce qui arrivera, lorsque nous n'aurons plus de neige dans la vallée; mais nous sommes en pleine planification, pour nous y préparer. Nous n'avons qu'une alternative : nous devons améliorer le glacier. Avec un accès plus efficace et un meilleur équipement de l'immense domaine du glacier des Diablerets, Gstaad sera largement sauvé» (cité dans Wiener, 1992). Un projet à 60 millions de francs suisses, qui devrait permettre d'augmenter

la capacité d'accès avec un métro, est en voie d'être abandonné pour des raisons de coût. Par contre, une concession pour un nouveau télési sur le glacier a été demandée. Le télési, construit en 1993, est en service depuis février 1994.

Mais dans quelle mesure le glacier de Tsanfleuron, dont il est question ici, s'est-il déjà retiré, et quelles sont ses perspectives d'avenir dans le «climat de serre» du XXI^e siècle? Le glacier de Tsanfleuron constitue la partie principale d'une masse glaciaire de type calotte, qui s'étend aux limites des cantons de Valais, Vaud et Berne entre l'Oldenhorn et le sommet des Diablerets (3 209 m), sur une surface tabulaire et peu protégée de l'ablation orientée à l'est (figure 8). Vers le milieu du siècle passé, le glacier de Tsanfleuron s'étendait largement vers l'est avec une langue glaciaire descendant vers le col du Sanetsch (2 251 m) et il atteignait environ 7,2 km². Par suite d'un retrait remarquablement important au cours du dernier siècle, une zone de karst de haute montagne unique par sa richesse en formes est apparue dans la marge proglaciaire (Gardaz, 1992). L'ampleur du retrait par rapport à l'extension de 1850 peut être considérée comme supérieure à la moyenne, autant en chiffres absolus que relatifs. Le glacier a perdu 3,4 km², soit 47 % de sa surface, et s'est réduit ainsi à 3,8 km². Les glaciers comparables, de la classe de taille 4 à 10 km², ont perdu en moyenne à peine 20 % (± 5 %) de leur surface initiale. Le glacier de Tsanfleuron montre ainsi un comportement comparable à celui de petits glaciers de la classe de taille 0,2 à 0,5 km² (perte de surface moyenne de 46,4 %). Dans le même temps le glacier de Tsanfleuron a perdu 1,7 km, soit presque le tiers (31,5 %) de sa longueur initiale (5,4 km); des valeurs qui sont également très nettement au-dessus de celles de glaciers de taille ou de longueur comparables. Le profil en long du glacier de Tsanfleuron peut être décrit comme régulier, mais sa pente de 7,7° (vers 1850) et de 8,8° (aujourd'hui) est très faible, comparée à celle de glaciers de montagne qui sont de l'ordre de 20,4° (vers 1850) et de 22,6° (1973). Cette caractéristique topographique explique largement à elle seule, sur le plan «glacio-géométrique», la diminution inhabituelle de surface et de longueur depuis 1850 (figure 7).

Le glacier de Tsanfleuron figure depuis 1892 dans le réseau d'observation de la Commission suisse des glaciers (Kasser *et al.*, 1986). Les mesures enregistrées de 1892-1893 à 1990-1991 (aucune mesure n'a pu être effectuée en 1992 : Aellen, 1993) donnent un retrait cumulé d'environ 1 340 m. La moyenne des 99 mesures effectuées jusqu'ici donne un retrait annuel net de -13,5 m; 77 mesures annuelles ont donné des valeurs négatives (en moyenne -19,8 m), 16 années des valeurs positives (en moyenne +9,8 m) et 6 années des valeurs nulles, soit un caractère stationnaire. Le retrait le plus important a été enregistré en 1959 avec -82 m, la progression maximale en 1979 avec +36 m. Pour la période précédant le début des mesures, on peut reconstituer un retrait de l'ordre de 506 m. Le glacier de Tsanfleuron aurait donc perdu, entre 1850 et 1991, en tout 1 846 m, ce qui donne un retrait annuel moyen de 13,1 m. Une extrapolation linéaire de la tendance actuelle, peu réaliste en raison de la diminution du temps de réaction du glacier, donnerait, à partir de la longueur restante de 3,7 km, une fusion complète du glacier d'ici 280 ans (figures 8 et 9).

Figure 7



N.B.: Sont représentées les valeurs de mesures annuelles (en haut, échelle à droite) ainsi que les valeurs cumulées, reconstituées jusqu'en 1850.

Source: Kasser et al., 1986, données jusqu'en 1980; numéros trimestriels Les Alpes, données 1981-1991.

La faible pente de la surface du glacier, la faible différence d'altitude entre le point le plus haut (3 016 m) et le point le plus bas du glacier (altitude du front glaciaire en 1973 à 2 440 m) et la topographie glaciaire résultante, très défavorable, c'est-à-dire très sensible à un déplacement de la ligne d'équilibre, permettent de considérer le glacier de Tsanfleuron comme un appareil glaciaire très sensible et à temps de réaction très court. Dans la figure 8 sont représentées les surfaces du glacier de Tsanfleuron et des glaciers qui lui sont associés en 1850, en 1973 (partagées en surface d'ablation et d'accumulation) et la diminution de surface depuis 1850. Dans la figure 9, on a essayé, à l'aide du modèle hypsographique, de représenter la forme possible du glacier avec un scénario LE +100 m (élévation de température de +0,6°C, horizon scénario A : 2010, scénario C : 2020). Si ces pronostics climatiques se vérifient et que le glacier trouve un nouvel équilibre par réduction de longueur, de surface et de volume, il aura perdu encore 50 % de ses dimensions. Les stations inférieures et de larges portions des téléskis n° 2 (construction en 1983) et n° 3 (1993) seront déjà situées hors du glacier. La station inférieure du télési n° 1 (construction en 1971) se trouvera environ à l'altitude de la nouvelle ligne d'équilibre 2:1 (à environ 2 800 m), qui même en année

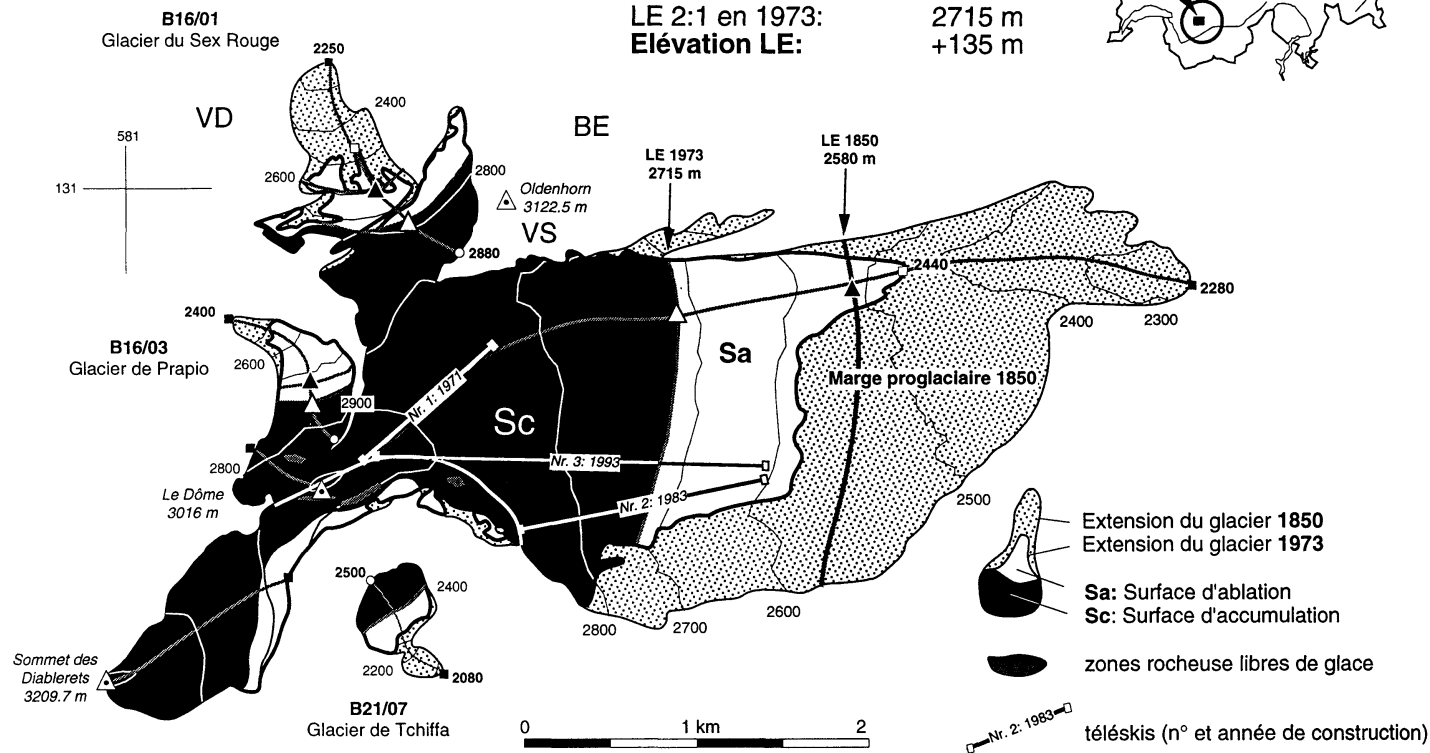
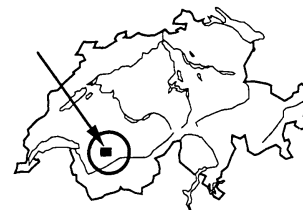
Figure 8

GLACIER DE TSANFLEURON

Extension du glacier en 1973

Surface 1850:
Surface 1973:
Perte 1850-1973:
Perte relative:
LE 2:1 en 1973:
Elévation LE:

7.18 km²
3.81 km²
-3.37 km²
-47 %
2715 m
+135 m



GLACIER DE TSANFLEURON

Scénario LE + 100m, réchauffement + 0.6°

Horizon temporel

scénario A: 2010

scénario C: 2020

Surface 1973:	3.81 km ²
Surface LE +100 m:	1.86 km ²
Perte p.r. à 1973:	-1.95 km ²
Perte relative:	-51 %
Perte p.r. à 1850:	-5.32 km ²
Perte relative:	-74 %

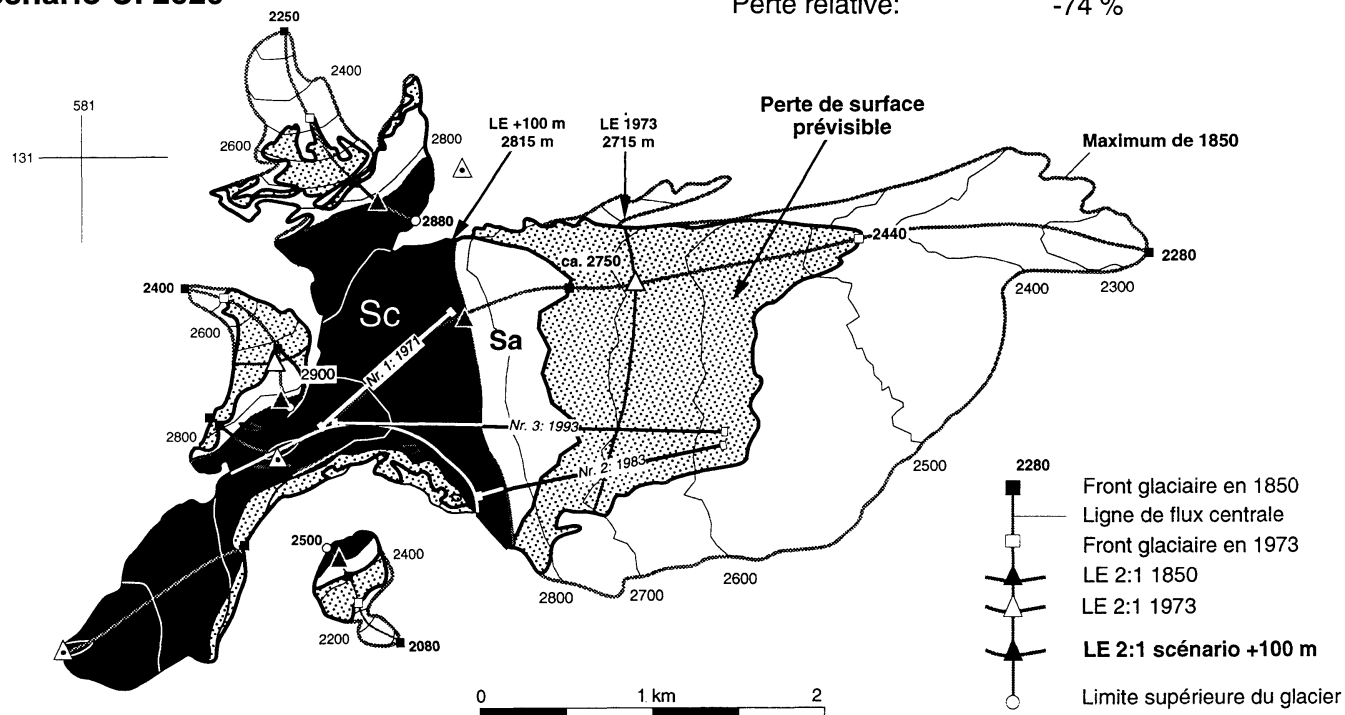


Figure 9

climatiquement «normale» (avec un bilan de masse équilibré, accumulation = ablation) se trouvera juste encore dans la zone couverte toute l'année par la neige. Dans les années de bilan de masse négatif, dont la fréquence devrait augmenter au vu des tendances climatiques annoncées, la fusion estivale dépassera largement les installations de ski et compromettra fortement le ski d'été.

Au vu de nos scénarios, le ski d'été sera donc bientôt fini sur le glacier de Tsanfleuron. La fusion du glacier influencera aussi négativement le ski d'hiver (ancrage des téléskis, tracés des pistes, etc.). Malgré tout, le domaine skiable du glacier des Diablerets a en principe de bonnes perspectives d'avenir, du moins en ce qui concerne le ski d'hiver. Le glacier des Diablerets est le seul domaine skiable sur glacier qui soit accessible par les hôtes de la région des Alpes vaudoises et de Gstaad dans un délai raisonnable, pour une excursion d'une journée. De par sa situation isolée, c'est-à-dire par l'absence d'autres champs de ski de haute altitude, de même que par le grand nombre de domaines skiables menacés dans les environs immédiats, il faudra compter, dans un avenir «pauvre en neige», avec une grosse concentration de la demande sur le glacier :

- À court terme, le glacier va jouer un rôle important comme variante de remplacement pour les domaines skiables subsistant dans la région de ski des Alpes vaudoises, de Gstaad et du Haut-Pays blanc.
- À moyen terme, seules quelques remontées de moyenne altitude seront encore en fonction dans la région. Les installations situées à plus basse altitude devront renoncer à l'exploitation en raison du manque de neige. La plupart des skieurs de la région se rabattront alors sur le glacier.
- À long terme, il est envisageable que pratiquement toute l'activité de ski de la région se concentrera sur le glacier de Tsanfleuron.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Philippe Schöneich (Université de Lausanne) et Daniela Diener-Roth (Université de Zurich) de la traduction de cet article.

BIBLIOGRAPHIE

- ABEGG, B. et FRÖSCH, R. (1993) Climate Change and Winter Tourism—Impact on Transport Companies in the Swiss Canton of Graubünden. In M. Beniston (éd.) *Mountain Environments in Changing Climates*. Londres/New York, Routledge, pp. 328-340.
- AELLEN, M. (1993) Die Gletscher der Schweizer Alpen im Jahr 1991/1992. *Die Alpen. Zeitschr. des Schweiz. Alpen-Clubs*, 69(4) : 212-233.
- OFIAMT (Office fédéral de l'industrie, des arts et métiers et du travail) et OFAT (Office fédéral de l'aménagement du territoire) (1991) *Installations d'enneigement—nouvelle orientation de la politique fédérale*. Berne, 61 p.
- Die Alpen. Zeitschr. des Schweiz. Alpen-Clubs*. Quartalshefte, Jahrgänge 1980-1993.

- FÖHN, P. (1990) Schnee und Lawinen. *Int. Fachtagung über Schnee, Eis und Wasser der Alpen in einer wärmeren Atmosphäre*, 11 mai 1990, Zurich, Mittlg. VAW-ETH Zurich n° 108, pp. 33-48.
- GARDAZ, J.-M. (1992) *Approche géomorphologique d'un complexe karstique partiellement englacé: l'exemple de Tsanfleuron (Valais/Suisse)*. Université de Fribourg, institut de géographie, thèse de diplôme, 118 p.
- HAEBERLI, W. (1991) Alpengletscher im Treibhaus der Erde. *Regio Basiliensis, Basler Zeitschr. für Geographie*, 32(2) : 59-72.
- HAEBERLI, W. (1994) Schwund der Alpengletscher und Globaler Treibhauseffekt. *Die Alpen. Zeitschr. des Schweiz. Alpenclub*, 70(4) : 174-177.
- HÖLZLE, M. (1994) Permafrost und Gletscher im Oberengadin. *Grundlagen und Anwendungsbeispiele für Automatisierte Schätzverfahren*. Zurich, Mittlg. VAW-ETH Zurich n° 32, 121 p.
- KASSER, P. et al. (1986) *Die Gletscher der Schweizer Alpen 1977/78 und 1978/79* (Jubiläumsband, 99. und 100. Bericht). Glaziologisches Jahrbuch der Gletscherkommission SNG, 288 p.
- KÖNIG, U. (1994) *Entwicklung und Zukunft des Gletscherskitourismus in der Schweiz*. Wirtschaftsgeographie und Raumplanung Vol. 19, Université de Zurich, institut de géographie, 97 p.
- KUHN, M. (1990) Energieaustausch Atmosphäre-Schnee und Eis. *Int. Fachtagung über Schnee, Eis und Wasser der Alpen in einer wärmeren Atmosphäre*, 11 mai 1990, Zurich. Mittlg. VAW-ETH Zurich n° 108, pp. 21-32.
- MAISCH, M. (1992) *Die Gletscher Graubündens. Rekonstruktion und Auswertung der Gletscher und deren Veränderungen seit dem Hochstand von 1850 im Gebiet der Östlichen Schweizer Alpen (Bündnerland und Angrenzende Regionen)*. A : Grundlagen-Analysen-Ergebnisse, 320 p.; B : Verzeichnisse-Datenkataloge-Gletscherkarten, 120 p. Phys. Geographie Vol. 33, Université de Zurich, institut de géographie.
- MAISCH, M. (1993) Verstärkter Gletscherschwund in den Bündner Alpen. *Cratschla. Mittlg. aus dem Schweiz. Nationalpark*, 1 (2) : 14-26.
- MAISCH, M. et al. (1993) *Lebendiges Gletschervorfeld. Von Schwindenden Eisströmen, Schuttreichen Moränenwällen und Wagemutigen Pionierpflanzen im Vorfeld des Morteratschgletschers. Führer und Begleitbuch zum Gletscherlehrpfad Morteratsch*. Samedan, Engadin-Press, 138 p.
- MÜLLER, F. et al. (1976) *Firn und Eis der Schweizer Alpen, Gletscherinventar*. Zurich, 174 p.
- PFUND, C. (1993) *Die Seilbahnen in Zahlen*. Assemblée générale de l'Association suisse des entreprises de transport à câbles, 16 septembre 1993, Chambéry, non publié, 10 p.
- WIENER, D. (1992) *Wir Können ja die Berge nicht Höher Machen*. OFEFP (Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage), dossiers de presse: Planète Suisse (1).
- WITMER, U. et al. (1986) *Erfassung, Bearbeitung und Kartierung von Schneeedaten in der Schweiz*. Berne, 215 p.

(Acceptation définitive en août 1995)